

同步语言 Signal 在综合航电系统建模仿真中的应用

李全军, 张安, 曹璐

LI Quan-jun, ZHANG An, CAO Lu

西北工业大学 电子信息学院, 西安 710072

Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China

E-mail: quanjunli@126.com

LI Quan-jun, ZHANG An, CAO Lu. Simulation for integrated modular avionics using language Signal. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(17): 231-234.

Abstract: To facilitate the design of Integrated Modular Avionics(IMA), this paper proposes the method of modeling and validating for IMA using synchronous language Signal. The Signal can analyze the credibility, safety and boundness of hybrid systems with the clocks consequence. It can not only intuitively show all kinds of variables in the restrictive relation, but also obtains the temporal characteristic of a system using a homomorphism. This paper gives the simulation of the IMA considering the avionics standard ARINC 653 as basis.

Key words: integrated modular avionics; the synchronous language SIGNAL; timing evaluation; ARINC 653

摘要: 为了辅助航空电子系统进行综合设计, 提出了用 Signal 语言对新一代综合航电系统进行建模仿真和性能评估的方法。Signal 语言是一种同步语言, 它通过时钟推理机制来反映复杂系统的确定性、安全性、有界性等问题, 能够直观地表示系统元素之间的约束关系及特性, 通过构造同步实时评估模型来反映系统的实时性。基于 ARINC 653 标准, 对新一代模块化综合航电系统进行了建模仿真。

关键词: 综合航空电子系统; 同步语言; 实时评估; ARINC 653

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.17.070 **文章编号:** 1002-8331(2009)17-0231-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP31

1 引言

综合航空电子系统是一复杂的实时信息处理系统, 近几年来其发展呈现出以下特点: 系统功能和资源呈非线性增长, 系统设计复杂度剧增。如何进行系统资源的有效共享、如何进行系统任务的合理调度、如何缩短系统的设计周期、如何准确地进行设计验证和性能预测, 是综合航电系统设计人员面临的主要问题。对综合航电系统进行建模仿真, 提供系统开发验证平台, 是解决以上问题的有效途径^[1-2]。

在对新一代综合航电系统建模仿真及辅助设计研究方面, 文献[8]基于排队论、马尔可夫链, 利用确定与随机 Petri 网(DSPN)建立了新一代航电系统总线模型, 主要把系统负载、实时性等性能指标作为系统设计的参考依据; 文献[9]采用中间件技术和分布式处理方案对新一代综合航电系统的资源管理、功能综合及过程复用方法进行了研究。本文主要基于 ARINC653 标准, 侧重于对新一代综合航电系统快速原型的建立, 通过逻辑分析判断系统结构的合理性。法国国家信息与自动化研究所在利用同步语言进行综合航电系统辅助设计方面已经取得了很大的成果^[10]。

Signal 语言作为同步语言, 具有分析信号之间逻辑关系的

能力, 广泛应用于实时反应系统和复杂系统的性能分析。在 Signal 语言中每个元素都隐含着逻辑时钟信息, 元素之间的操作受逻辑时钟的约束, 这一特点有利于对离散事件系统(数字电路系统)进行建模分析。利用 Signal 语言对综合航电系统进行建模, 利用其逻辑时钟来反映航电系统元素之间的时序关系, 并将航电系统之间复杂的关系通过映射, 成为在 F_3 有限域上简单的代数关系, 能够对系统的确定性和死锁情况进行检测。同时利用 Signal 语言在完成一个模型的建立之后, 会自动生成与之同构的实时评估模型, 以便对模型的实时性进行跟踪评估^[9]。

2 同步语言 Signal

2.1 Signal 语言

Signal 语言主要应用于实时反应系统的分析当中, 一个 Signal 程序是一个连接输入和输出信号的方程式集, 一个信号用一个值和说明它出现或缺省的逻辑时钟来表示, 用于方程式的运算是典型的算术和逻辑运算(与、或、非、+、-……)。其 5 条基本指令为^[9]:

(1) 基本过程, 即各变量之间的函数关系 $y_n = f(x_1, \dots, x_n)$,

基金项目: 航空科学基金(the Aviation Science Foundation of China under Grant No.20060553008, No.05D53021)。

作者简介: 李全军(1979-), 男, 博士生, 主要研究领域为航空电子系统综合设计; 张安(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为综合航电系统仿真与设计, 复杂系统建模、仿真与效能评估, 智能化指挥与控制工程等; 曹璐(1982-), 男, 博士生, 主要研究领域为复杂系统建模与效能评估。

收稿日期: 2008-04-02 **修回日期:** 2008-06-25

其中时间为隐含的,可以认为对于 $\forall t$ 上述关系成立,即各个变量在所设定的任何时刻 t 同时出现,也称各变量同步。

(2)条件,即在某一逻辑条件下的赋值。 $Y:=A$ when B ,它的意思是当 B 出现且为真时, Y 取值为 A ,否则 Y 不被定义。

(3)优先,两个信号有优先次序。 $Y:=A$ default B ,意思是如果 A 出现 Y 取值为 A ,如果 A 缺省而 B 出现,则 Y 取值为 B ,如果 A, B 均缺省,则 Y 缺省。

(4)延迟, $ZY:=Y\$1$,它表示 ZY 是 Y 的前一个值。

(5)合并,多个基本过程的连接, $P1Q$ 。

2.2 Signal 语言的推理机制

Signal 的推理机涉及:(1)出现/缺省;(2)布尔值,由于它们在修正时钟时是重要的;(3)关联图,编译在非布尔函数中的数据依赖性,关联图被要求去检测死锁短路等。用3个标号去编译缺省、真、假以及出现(真或假不确定)。为此使用整数模3的有限域 F_3 : $true \rightarrow +1, absent \rightarrow 0, present \rightarrow \pm 1$,用映射把 Signal 的几条基本指令编译如下:

(1) $y:=x$ when b 在布尔情况得到编译如下: $y=x(-b-b^2)$;当在非布尔情况,必须编译关于时钟的约束关系和依赖性, $y^2=x^2(-b-b^2)$ 。

(2) $y:=u$ default v 在布尔情况下 $y=u+v(1-u^2)$;在非布尔情况下: $y^2=u^2+v^2(1-u^2)$ 。

(3) $y:=x\$1$ 编译为: $y^2=x^2$ 。

运用上面的映射把一个给定的 Signal 程序进行编译,找出程序是否存在矛盾,是否存在短路与死锁,判断程序的确定性和有界性。同时给出程序中各元素之间的依赖关系,给出具有层次结构的元素条件关联图,有利于对所分析的实时系统进行层次和功能模块的划分。

2.3 Signal 的实时性分析模型

在使用 Signal 完成一个应用程序的设计之后,Signal 编译系统会自动地为之生成一个与其结构相同的实时评估模型。新的实时评估模型使用信号 $data_x$ 来代替原程序中的信号 x , $data_x$ 与 x 时钟相同。通过仿真,新的实时评估模型能够如实地反映原程序的实时性和功能特性。

3 Signal 对模块化综合航电系统的建模仿真

3.1 模块化综合航电系统

模块化综合航空电子系统(IMA)最大的特点就是功能分区、结构分层。以美国最新研制的 JSF 战斗机为例,其航空电子系统结构主要包括三大分区:射频分区、综合核心处理区(ICP)、飞行管理区。其中 ICP 又包括几个机箱,每个机箱内插有若干个通用数据信号处理模块(处理机模块)。每个处理机模块采用时空隔离分区技术,分为若干个隔离分区,每个隔离分区内可以同时处理多个任务^[5-6]。分区管理保证了同时运行的多个不同类型的应用软件在时间和空间上互不影响,大大加强了系统的容错能力。在 ARINC 653 定义的 IMA 系统结构中,应用软件和实时执行软件(实时操作系统)之间的接口,定义为应用软件接口(APEX),该接口定义了实时执行软件向应用软件提供的用于控制内部处理单元之间调度、通讯和状态信息的一组服务。在 IMA 中不同应用软件间的通信包括两种形式:分区内通信和分区间通信。分区内通信主要指分区内进程之间的通信,其通信机制包括消息队列、黑板报、信号量和事件。其中,消息队列和黑板报用于进程间通信,信号量和事件用于进程间同步。

分区间通信是指在同一处理机模块或者不同处理机模块上运行的多个分区之间的通信,主要通过队列端口(Queueing port)和采样端口(Sampling port)来完成。

3.2 Signal 对模块化航电系统仿真的优势

在对实时反应系统的建模测试评估中,常用的方法主要包括^[7]:普通建模分析法、有限状态机分析法、Petri-Net 分析法、并发语言 ADA 分析法。其中,普通建模法是比较常用的系统分析方法,是指对测试系统的各个单元进行功能模拟,然后经过系统互连进行性能评估测试。在该方法中,由于多个功能单元测试模块是通过松耦合的方式进行互联的,缺乏整体性的分析指标,同时该方法分析调试比较困难。有限状态机法不支持并行操作和系统分层结构,在对比较复杂系统进行分析时容易造成状态的混乱。Petri-Net 法模块性比较差,同时缺乏系统确定性分析。并发语言 ADA 法虽然支持并行操作并且模块性比较强,但是其实质上是异步语言,系统行为具有不可预测性。

Signal 作为一种同步语言,假设输出与输入同步,内部行动瞬时,通讯是通过瞬时广播完成。这种同步假设是依赖于一个无限快的处理器,但是,如果实际被控过程运行比控制系统慢,该假设就变为有效且可以使用。使用 Signal 语言对模块化综合航电系统进行建模仿真时,通过时钟推理机制,可以建立确定性、模块化的系统分层结构模型,能够有效地进行系统状态自检测,能够有效避免系统状态爆炸,是一种比较理想的系统分析工具。

3.3 Signal 对模块化航电系统的仿真

基于 Signal 的模块化综合航电系统仿真主要包括四个部分:应用软件接口 APEX 服务机制的仿真、ARINC 进程的仿真、功能分区操作系统的仿真、实时评估测试模块的仿真。

3.3.1 APEX 服务机制仿真

APEX 服务机制仿真主要包括对进程管理、通信与同步、时间管理等服务机制的仿真。

进程管理的仿真主要通过以下属性对进程进行描述:进程名称及地址 ID、程序入口、占用堆栈大小、优先级、周期、最坏执行时间、死限、运行状态(休眠、就绪、等待、执行)。进程管理服务机制的仿真主要包括:进程的生成、挂起、重起与终止,对读写系统资源(消息队列、黑板报、事件、信号量、队列端口、采样端口)使用队列的插入与移除,属性的检测与设置、资源的分配与回收、运行状态的保存等。

通信与同步主要包括隔离分区内和隔离分区间的通信与同步。

分区内通信与同步主要通过黑板报、消息队列、事件和信号量来完成的。黑板报没有消息队列,数据直接显示在黑板报上,只能被重写或者擦除,进程可以直接对黑板报进行读写擦除操作。仿真中通过黑板报的名称及 ID、消息地址、数据长度、访问时限等属性控制其操作。消息队列采用先入先出(FIFO)队列,能够缓存一定限度的数据,进程可以直接对其进行读写访问。仿真中通过缓冲区的名称 ID、缓冲区大小、消息大小、排队规则、访问时限等属性控制其操作。事件主要包括 0、1 两种状态,进程之间通过置位和复位来完成信息交互,仿真中主要通过事件的名称及 ID、等待时限对其操作。信号量主要用于系统同步,本文定义为分配给某进程的时间片,进程在给定的时间片内运行,当时间片耗尽时当前进程终止运行,其他等待的进程开始执行。仿真中主要通过信号量的名称及 ID、最大信号量、当前信号量、进程的执行规则对其操作。

分区间通信与同步通过队列端口(Queuing port)和采样端口(Sampling port)来完成。队列端口主要通过先入先出(FIFO)方式排序, 仿真中对其操作主要通过队列端口名称及 ID、端口容量、消息长度、排队规则和通信目的地址来完成。采样端口通过循环刷新的方式向端口写入数据, 接收端通过周期采样的方式来读取数据。仿真中对其操作主要通过采样端口名称及 ID、端口容量、采样与刷新周期、通信目的地址来完成。

时间管理主要完成对各隔离分区和进程的时间片的分配与控制。

3.3.2 ARINC 进程的仿真

利用 Signal 同步语言可以很容易地将 ARINC 进程的仿真分为流程控制部分和计算部分。流程控制部分控制着进程的执行逻辑, 其每一个执行节点都对应着计算部分的一个计算模块。每一个计算模块都是瞬间完成, 其执行过程不允许被中断。ARINC 进程的仿真模型如图 1 所示, 其通过判断活动进程地址来决定是否执行, 活动期受外部时钟控制, 执行完毕后会向操作系统发送执行结束信号。

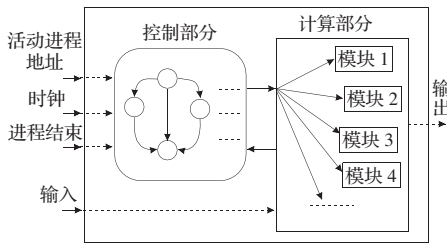


图 1 ARINC 进程模型

3.3.3 功能分区操作系统仿真

功能分区操作系统主要通过 APEX 服务完成对进程的生成、执行、挂起、终止操作, 负责本分区的时间分配, 通过速率单调调度算法(Rate-Monotonic Scheduling, RMS)对进程进行调度。RMS 算法是一种最优的静态优先级调度算法, 即如果一个任务集在其他静态优先级调度算法下是可调度的, 则采用 RMS 算法也一定是可调度的。通过对以上过程的模拟来完成对分区操作系统的仿真。

3.3.4 实时评估模块仿真

一个 ARINC 进程的仿真分为流程控制和计算两个部分, Signal 语言在为该进程建立同构体进行实时性分析时, 也将实时分析模块分成了流程控制和计算两个部分。其中新生成的同构体 P' 的控制部分与原进程 P 的控制部分完全相同, 但是其计算部分只是对原进程计算部分简单的模拟^[3], 因此计算部分处理结果对流程控制的影响在同构体中不能得以体现。本文将原进程 P 中计算部分对流程控制部分的控制量 c_1, \dots, c_q 连同原输入 x_1, \dots, x_n 的替代量 $data_{x_1}, \dots, data_{x_n}$ 一起作为同构体 P' 的输入量, 计算进程 P 执行过程中所需的逻辑时钟, 对其进行实时性评测。其模型结构如图 2 所示。

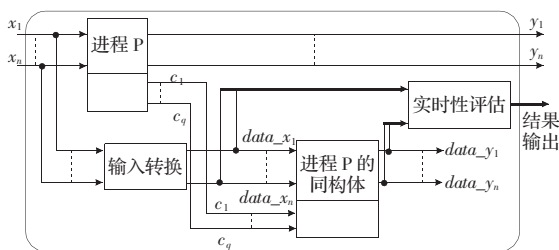


图 2 ARINC 进程的实时性评估模型

4 实例分析

本文以对某一隔离分区功能的仿真为例, 来说明基于 Signal 语言的综合航空电子系统仿真流程。某一隔离分区具有载机位置计算和燃油量计算功能, 其隔离区内涉及到的资源主要包括: 一个黑板报(board)、两个消息队列(buff1, buff2)、一个事件(evt)、一个信号量(sema)、一个采样端口(s_port)、全局参数区(Global_params)。该隔离分区主要包括三个进程: 载机位置计算(POSITION_CAL)、油耗量计算(FULE_CAL)、数据更新(DATA_REFRESH)(如图 3 所示)。三个进程的工作流程如下:

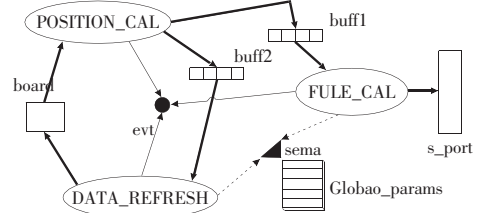


图 3 具有位置和油耗计算功能的隔离分区结构图

载机位置计算:通过 buff2 请求 DATA_REFRESH 更新全局数据, 在得到数据已更新的事件 evt 之后, 读取黑板报 board 数据进行载机位置计算, 并将结果通过 buff1 发送给 FULE_CAL;

油耗量计算:在 buff1 中读到更新的载机位置数据之后, 通过信号量 sema 读取 Global_params 中油耗数据, 并将载机位置和油耗信息一同写入 s_port 发送给其他分区, 最后重新初始化事件 evt 进行进程同步;

数据刷新:在 buff2 中读到 POSITION_CAL 的数据刷新请求之后, 通过信号量 sema 刷新 Global_params 中的数据, 并将数据写入黑板报 board, 通过事件 evt 通知 POSITION_CAL 读取黑板报中的数据。

下面以载机位置的计算为例来说明每个进程的仿真过程。根据 POSITION_CAL 的功能可将其分为 5 个功能模块: 模块 0 向 buff2 写入请求数据; 模块 1 等待读数据事件 evt; 模块 2 读黑板报数据; 模块 3 计算载机位置; 模块 4 将位置数据写入 buff1。其进程逻辑执行流程如图 4 所示。其中 t_1 表示进程状态激活后状态立即跳转; t_2 表示在进程被激活后, 还需满足跳变条件才能实现状态跳转。

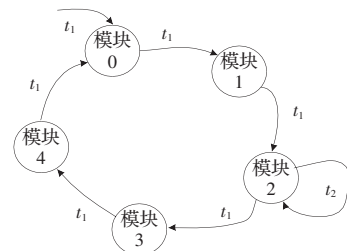


图 4 载机位置计算进程状态自动转换流程图

从整个系统的角度来看, 只有当隔离分区被激活后, 分区内的各个进程才能依次执行。本文设定 POSITION_CAL 具有最高优先级, DATA_REFRESH 的优先级最低。对整个隔离分区功能进行仿真时, 可以跟踪每个进程的执行状况, 其每个进程的运行轨迹如图 5 所示。仿真结果可以如实地反应系统的运行流程, 同时利用 Signal 仿真模块的实时评估单元可以测试出每个进程运行时所消耗的逻辑时钟, 根据逻辑时钟与物理时钟的对应关系, 就可以得出每个进程的实时特性。

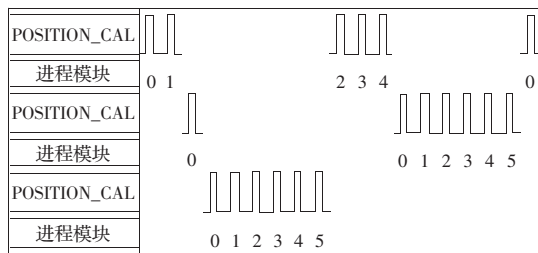


图5 功能分区仿真结果图

5 结论

本文介绍了利用同步语言 Signal 对模块化综合航电系统进行建模仿真的方法,同步语言 Signal 利用时钟推理机制能够准确地分析被仿真元素之间的依赖关系,同时 Signal 仿真模型具有很好的模块性和层次结构性,仿真过程中能够有效提高仿真单元的重用性。虽然同步语言 Signal 中有关动作瞬间完成这一假设与实际情况不符,但是在这一假设情况下,有利于系统逻辑关系的分析,有利于建立测试评估目标的快速原型。如果所设计的系统在该假设条件下都不能正确运行,那么系统设计人员必须提早对设计方案进行改进。

参考文献:

[1] Closse E, Poize M, Poulou J, et al. TAXYS: A tool for the development and verification of real-time embedded systems[C]//Proc of Computer Aided Verification. Paris, France: Springer-Verlag, 2001.

- [2] Henzinger T A, Horowitz B, Kirsch C M. Embedded control systems development with Giotto[C]//Proc of LCTES. ACM SIGPLAN Notices, 2001.
- [3] Kountouris A, Le Guernic P. Pro_ling of signal programs and its application in the timing evaluation of design implementations[C]//Proc of the IEE Colloq on HW-SW Cosynth for Recon_g Systems, HP Labs, Bristol, UK, February 1996: 6/1-6/9.
- [4] Gamati_e A, Gautier T. The signal approach to the design of system architectures[C]//the 10th IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems, April 2003.
- [5] Partitioning in avionics architectures: Requirements, mechanisms, and assurance, NASA/CR-1999-209347[R], 1999.
- [6] Airlines Electronic Engineering Committee. ARINC Specification 653: Avionics Application Software Standard Interface[Z]. Aeronautical radio, Inc., Annapolis, Maryland, 1997-01.
- [7] Benveniste A, Berry G. The synchronous approach to reactive and real-time systems[J]. Proc of IEEE, 1991, 79(9): 1270-1282.
- [8] 张建东, 高晓光, 吴勇. 基于 Petri 网的综合航电系统建模与性能评估[D]. 西安: 西北工业大学, 2004.
- [9] 廖勇, 熊光泽. 面向新一代航空电子的实时自适应资源管理中间件及算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2006.
- [10] Brunette C, Delamare R, Gamatiè A, et al. A modeling paradigm for integrated modular avionics design[J]. Software Engineering and Advanced Application, 2006-09.

(上接 230 页)

经过上述处理得出的即是大概的车牌区域范围,见图 5。其中图 5(a)左上角树木图像和图 5(b)下方草地的分形维数接近于车牌,因此也被检测出来了,见图 5(e)、(f)。基于本文的车牌区域粗定位,结合传统手段进行进一步的车牌精确定位,可以大大提高车牌定位的精准度。图 5(d)、(h)更加说明了本文方法对于描述车牌区域的有效性。

3 实验结果

实验环境为 AMD Athlon1800+, 256 M Ram PC, Win2000, Matlab6.0。本文实验所用车辆图像均为在自然场景中拍摄的任意像素的彩色图像,其中牌照包括普通牌照(底色为蓝、黑、黄),军用牌照(底色为白),武警牌照(底色为白)。图像中牌照大小不一,背景包括人、其他车辆、树木、建筑物等。随机抽取的车牌粗定位测试集共包含 40 幅图像,其中漏检 0 幅,误检 0 幅,检出冗余区域 20 幅,正确检出 40 幅,实验的部分结果见图 5。

4 结论

采用基于分形维数的方法对车辆牌照定位算法进行了研究。通过图像剪裁、灰度转换、图像增强、车牌分形维计算、车牌区域提取等步骤实现了多车牌快速定位。本文算法复杂度低;

能够适用于我国所有类型车牌的粗定位;对复杂背景、车牌的倾斜等并不敏感,具有极好的鲁棒性。

参考文献:

- [1] Yu Mei, KimYong Deak. Approach to Korean license plate recognition based on vertical edge matching[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2000, 4: 2975-2980.
- [2] Ma Miao, Tian Hongpeng, Hao Chongyang. Image denoising using grey relational analysis in spatial domain[C]//Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering on Visual Communications and Image Processing, 2005, 5960(1): 335-342.
- [3] Lu Yinghua, Yu Lijie, Kong Jun, et al. A novel license plate location method based on neural network and saturation information[C]//18th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, 2005: 1037-1040.
- [4] Hsieh Ching-Tang, Juan Yu-Shan. Wavelet transform based license plate detection for cluttered scene[J]. WSEAS Transactions on Computers, 2005, 4(1): 30-33.
- [5] 张引, 潘云鹤. 彩色汽车图像牌照定位新方法[J]. 中国图形图象学报, 2001, 6(4): 374-377.
- [6] 骆雪超, 刘桂雄, 冯云庆, 等. 一种基于车牌特征信息车牌识别方法[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2003, 31(4): 70-73.